

هل تصبح حرارة الحواسيب مصدرًا للحوسبة بدلاً من كونها مشكلة؟

2026-06-07

في كل جهاز إلكتروني تقريبًا، من الهاتف الذكي إلى الحاسوب الفائق، توجد مشكلة قديمة لا تختفي: الحرارة. كلما زادت سرعة المعالجات وكثافة الشرائح الإلكترونية، زادت كمية الحرارة الناتجة عن عملها.

ولهذا السبب تُبنى أنظمة تبريد معقدة داخل الحواسيب ومراكز البيانات، وتُصرف طاقة كبيرة فقط لإبعاد الحرارة عن المكونات الحساسة. لكن باحثين من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT طرحوا سؤالًا مختلفًا تمامًا: ماذا لو لم تكن هذه الحرارة مجرد نفايات يجب التخلص منها، بل وسيطًا يمكن استخدامه لإجراء عمليات حسابية؟

الفكرة تبدو للوهلة الأولى أقرب إلى الخيال العلمي. فالحرارة في الإلكترونيات تُعامل عادة بوصفها عدوًا للأداء؛ فهي تقلل كفاءة الشرائح، وتزيد احتمالات الأعطال، وتفرض قيودًا على تصميم الأجهزة. لكن فريقًا بحثيًا من MIT صمم تراكيب مجهرية من السيليكون تستطيع توجيه تدفق الحرارة داخل الشريحة بطريقة تجعلها تنفذ عمليات حسابية محددة. بمعنى آخر، بدل أن تنتقل المعلومات فقط عبر الإلكترونيات والتيارات الكهربائية، يمكن أن تنتقل جزئيًا عبر فروق الحرارة وتوزيعها داخل مادة مصممة بعناية.

تعتمد هذه التقنية على مفهوم الحوسبة التناظرية، وهي ليست جديدة تمامًا، لكنها تعود اليوم بثوب مختلف. في الحوسبة الرقمية التقليدية، تُحوّل المعلومات إلى أصفار وآحاد، وتُعالج عبر ترانزستورات كهربائية. أما في الحوسبة التناظرية، فيمكن استخدام ظواهر فيزيائية مستمرة، مثل الضوء أو الموجات أو الحرارة، لتمثيل البيانات ومعالجتها. الجديد هنا أن MIT تحاول استغلال ظاهرة موجودة أصلًا داخل كل جهاز إلكتروني تقريبًا، وهي الحرارة المهدرة، وتحويلها إلى جزء من عملية معالجة المعلومات بدلًا من اعتبارها عبئًا فقط.

صمم الباحثون تراكيب صغيرة جدًا من السيليكون تتحكم في كيفية انتشار الحرارة عبر سطح الشريحة. عندما تدخل حرارة من نقاط معينة، تتحرك داخل هذه

البنية وفقاً لشكلها الهندسي، ثم تخرج من نقاط أخرى بطريقة تمثل نتيجة حسابية. هذه العملية لا تحتاج بالضرورة إلى ترانزستورات تعمل بالطريقة التقليدية داخل البنية نفسها، بل تعتمد على قوانين انتقال الحرارة. وكأن الشريحة لا “تحسب” عبر تشغيل وإطفاء مفاتيح كهربائية، بل عبر السماح للحرارة بأن تسلك مسارات محسوبة مسبقاً.

الأكثر إثارة أن هذه التراكيب استطاعت، في التجارب والمحاكاة، تنفيذ عمليات رياضية أساسية مثل ضرب المصفوفات في المتجهات بدقة عالية. وهذه العملية ليست تفصيلاً رياضياً صغيراً، بل تقع في قلب كثير من تطبيقات الذكاء الاصطناعي ومعالجة الإشارات. نماذج التعلم الآلي، وتحليل الصور، والتعرف على الأنماط، كلها تعتمد بدرجات مختلفة على هذا النوع من العمليات. لذلك فإن نجاح استخدام الحرارة في هذا المستوى يفتح باباً نظرياً أمام نوع جديد من المعالجات المتخصصة منخفضة الاستهلاك.

لكن من المهم عدم المبالغة في الأمر. نحن لا نتحدث عن حاسوب كامل يعمل بحرارة المعالج بدل الكهرباء، ولا عن تقنية جاهزة لتحل محل شرائح الذكاء الاصطناعي الحالية. ما قدمه باحثو MIT هو إثبات مبدأ: أي أنهم أثبتوا أن الحرارة يمكن أن تحمل معلومات وأن تشارك في تنفيذ عملية حسابية مفيدة. الطريق ما زال طويلاً قبل أن تتحول هذه الفكرة إلى منتج تجاري أو معالج فعلي داخل هاتف أو مركز بيانات. ومع ذلك، فإن قيمة البحث تكمن في أنه يغير طريقة التفكير في مشكلة حرارية مزمنة.

تزداد أهمية هذه الفكرة مع الصعود الهائل للذكاء الاصطناعي. فالنماذج الضخمة تحتاج إلى قدرات حوسبة عالية جداً، وهذا يعني استهلاكاً كبيراً للطاقة وتوليداً هائلاً للحرارة. مراكز البيانات حول العالم تواجه اليوم تحدياً مزدوجاً: كيف تزيد قدرتها على المعالجة دون أن تنفجر تكاليف الطاقة والتبريد؟ من هنا تبدو فكرة استخدام الحرارة نفسها كجزء من عملية الحوسبة جذابة للغاية، لأنها لا تكتفي بتقليل الهدر، بل تحاول تحويل أحد آثار الحوسبة الجانبية إلى مورد مفيد.

التطبيقات الأولى لهذه التقنية قد لا تكون في تشغيل نماذج ذكاء اصطناعي ضخمة، بل في مجالات أكثر تخصصاً مثل مراقبة الحرارة داخل الشرائح، أو اكتشاف مصادر السخونة، أو معالجة إشارات حرارية دون الحاجة إلى حساسات كثيرة تستهلك مساحة وطاقة. فإذا استطاعت الشريحة أن “تفهم” توزيع الحرارة داخلها عبر بنى سلبية صغيرة، فقد تتمكن من مراقبة نفسها بطريقة أذكى وأقل استهلاكاً للطاقة. وهذا وحده قد يكون ذا قيمة كبيرة في الأجهزة الدقيقة والمعالجات عالية الأداء.

ما يجعل البحث قويًا أنه لا يبيع وعدًا سهلًا، بل يطرح اتجاهًا علميًا قابلاً للتطوير. استخدام الحرارة في الحوسبة يواجه تحديات صعبة، منها بطء انتقال الحرارة مقارنة بالإشارات الكهربائية، وصعوبة التحكم الدقيق بها على نطاقات كبيرة، والحاجة إلى دمج هذه التراكيب مع بنية الشرائح الحالية. كما أن توسيع الفكرة لتعمل على مسائل ضخمة، مثل تلك المستخدمة في الذكاء الاصطناعي الحديث، قد يتطلب عددًا هائلًا من هذه الوحدات الحرارية الصغيرة. لذلك فالقضية ليست ثورة فورية، بل بداية مسار بحثي جديد.

ومع ذلك، فإن التاريخ التقني يعلمنا أن الأفكار الكبيرة تبدأ غالبًا من تجارب صغيرة تبدو محدودة. في البداية، لم تكن الخلايا الشمسية ولا الترانزستورات ولا الحوسبة الكمية تبدو جاهزة لتغيير العالم. لكنها فتحت أبوابًا جديدة للتفكير.

وبالمثل، قد لا تكون الحوسبة بالحرارة حلًا شاملًا لكل مشكلات الطاقة في الحوسبة، لكنها تضيف خيارًا جديدًا إلى صندوق أدوات المهندسين: بدل أن نقاوم الحرارة فقط، يمكن أن نصمم أنظمة تستفيد منها.

الرسالة الأعمق في هذا البحث أن مستقبل الحوسبة لن يكون بالضرورة امتدادًا مباشرًا لما نعرفه اليوم. فمع اقتراب الشرائح التقليدية من حدودها الفيزيائية، يبحث العلماء عن طرق غير مألوفة لمعالجة المعلومات: بالضوء، وبالموجات، وبالمواد الذكية، والآن بالحرارة. وهذا يعكس تحولًا مهمًا في التفكير الهندسي؛ لم تعد الكفاءة تعني فقط جعل الترانزستورات أصغر وأسرع، بل تعني أيضًا استغلال كل ظاهرة فيزيائية متاحة داخل النظام.

في النهاية، قد لا تتحول حرارة الحواسيب غدًا إلى "وقود" كامل للحوسبة، لكنها قد تتحول إلى وسيط مساعد يجعل الشرائح أكثر ذكاءً وكفاءة. وما كان يُنظر إليه لعقود باعتباره مشكلة مزعجة قد يصبح جزءًا من الحل. لهذا يستحق هذا البحث من MIT الاهتمام، ليس لأنه يقدم وعدًا تسويقيًا مبالغًا فيه، بل لأنه يطرح سؤالًا علميًا جريئًا وحقيقيًا: هل يمكن للحاسوب أن يستفيد من حرارته بدل أن يهرب منها؟

المصادر

- [MIT engineers design structures that compute with heat](#)

تواصل مع الكاتب: mohamedmouradgamal@gmail.com